

PALKOVICS LÁSZLÓ

Intelligens járműrendszerek



*Palkovics László
gépészmérnök
az MTA doktora*

1965-ben született Zalaegersze-
gen. 1989-ben a Budapesti Mű-
szaki Egyetem Közlekedésmér-
nöki Karán szerzett autógépész
diplomát. 1993-ban a műszaki
tudomány kandidátusa, 1998-
ban akadémiai doktora lett.

Pályáját az MTA TMB ösztön-
díjasaként kezdte a BME Gépjár-
művek Tanszékén, amelynek
1994-től tanszékvezetője lett.
Vendégprofesszor volt Helsink-
ben, Delftben és Kanadában.
Tagja az MTA Gépszerkezettani
Bizottságának, valamint a Gép-
ipari Tudományos Egyesület
elnökségének.

Tudományos tevékenysége
mellett 1995-től a Knorr-Bremse
magyarországi fejlesztőintézeté-
nek igazgatója, 2004-től a teljes
cégcsoport előfejlesztési igaz-
gatója.

Főbb kutatási területe: a jár-
műdinamika, a szabályozott jár-
műrendszerek tervezése és vizs-
gálata.

A közúti közlekedés volumene mind a személy-, mind a teherszállítás terü-
letén jelentősen növekszik, és ezt a fejlődést az infrastruktúra nem tudja kö-
vetni. Ennek következményeképp nő a közlekedési sűrűség, ami jelentősen
növeli a környezetterhelést, és ugyanakkor romlik a közlekedés biztonsága.
A közlekedési folyamat stabilitásának biztosítása nem képzelhető el a jár-
művek intelligenciájának növelése nélkül, ami részben vagy teljesen a veze-
tő kikapcsolását jelenti az irányítási körből. Az előadás összefoglalja ennek
a területnek a legfontosabb eredményeit, bemutatja a jármű- és a járműcso-
port-irányítás különböző szintjein alkalmazott rendszereket, ezek szenzo-
rait és irányítási anomáliáit. A műszaki problémák mellett foglalkozik a te-
rület néhány jogi és morális problémájával is.

Bevezetés

Az előadás címválasztása valószínűleg némi magyarázatra szorul. Az intel-
ligens jármű fogalma annál lényegesen többet takar, mint amennyit a ren-
delkezésre álló idő alatt el tudok mondani. Nem foglalkozom az előadás-
ban olyan területekkel, mint a szórakoztatóelektronika, a vezető-komfort



rendszerei, a járművilágítás, bár ezek jelentős része is beletartozna a cím által jelölt témakörbe. Előadásomban alapvetően a jármű és a közlekedés biztonságát befolyásoló rendszerekről szeretnék rövid áttekintést adni, a teljesség igénye nélkül. Főleg azokra a területekre szeretnék kitérni, amelyeken az elmúlt több mint egy évtized során itthon kutatásokat végeztünk, és amelyeken – tevékenységünk eredményeképpen – már több termék megjelent.

Az előadásban röviden kitérek a közlekedési rendszer felépítésére és fejlődésére, továbbá azokra a speciális, a társadalom által támasztott igényekre, amelyek az intelligens járművek és járműrendszerek fejlesztését indokolják.

Bár a közlekedési rendszerek többféleképpen csoportosíthatók, én két lehetséges osztályozást fogok követni: egyrészt feloszthatók a szenzorok, érzékelők, jeladók helye és a beavatkozás módja alapján, másrészt az adott rendszernek a járműrendszerben elfoglalt helye alapján. Szeretném röviden bemutatni e rendszerek funkcióját, szerepét és hatását, tervezésük néhány problémáját, valamint – a teljesség igénye nélkül – néhány példát az egyes rendszerek működésére. Bár a bemutatásra kerülő rendszerek általánosan alkalmazhatók, a demonstrációs példák többségében haszonjárművekre fognak szorítkozni. Ennek indoka kettős: egyrészt tevékenységem főleg erre a területre koncentrálódik, másrészt ezen járművek jelentősége, a közlekedési folyamat stabilitására gyakorolt hatása lényegesen nagyobb, mint a személyautóké.

Az előadás végén szeretnék ismertetni egy, az 1990-es évek elején készített prognózist az intelligens út–jármű rendszerek fejlődésének elkövetkező száz évről, és össze fogom hasonlítani az általunk belátható időben megvalósuló megoldásokkal.

A közlekedési rendszer felépítése

A szállítási teljesítmény növelése alapvető társadalmi igény. Az iparvállalatok például szeretnék az általuk beépítendő alkatrészeket a beépítés időpontjában megkapni. De mi sem akarunk túl messzire menni a fogyasztási cikkekért. A reggelihez szeretnénk megkapni az újságot meg a tejet és még folytathatnám. Erre az igényre a járműipar azonnal tud reagálni: nagyobb teljesítményű motorokat épít a járművekbe, növeli a jármű terhelhetőségét. Ez természetesen több problémához vezet: nő az infrastruktúra igénybevétele és a környezeti terhelés. Az infrastruktúra fejlesztése megpróbál ezzel lépést tartani, de nem bírja az iramot. Emiatt a társadalom a szabályozó rendszeren keresztül beavatkozik: új emissziós határértékeket ír elő, limitálja a járművek sebességét, tengelyterhelését stb. És itt a társadalom konfliktusba kerül saját korábbi igényével. Ezt úgy próbálja feloldani, hogy még újabb megoldásokat kényszerít ki a járműiparból (például új motorvezérlés, hatékonyabb fékrendszer, útbarát felfüggesztés stb.), és ösztönzi az infrastruktúra fejlesztését. – Ez a rövid példa ahhoz kellett, hogy a továbbiakban megértsük az intelligens járműrendszerek fejlesztésének indokait.



Az elektronikusan irányított járműrendszerek fejlődését meghatározó okok

Ha megnézzük a közlekedés volumenére és összetételére vonatkozó európai előrejelzéseket, ezek mindegyike – kis eltérésekkel – azt mutatja, hogy az elkövetkező évtizedben jelentős növekedés várható. A közúti közlekedés volumene egyes becslések szerint 55–95 százalékos mértékben nőhet, és ennek kezelése a jelenlegi közlekedési infrastruktúra állapota mellett egyre nehezebb lesz. További problémát jelent ennek a növekedésnek az összetétele, hiszen jelentős mértékben nő az áruszállítás volumene, melyben továbbra is a teherjárművek játsszák a főszerepet. Ennek indoka a termelés struktúrájának változásában keresendő: mind a gyártó, mind a beszállító arra törekszik, hogy az adott áru minél rövidebb ideig legyen az ő kezelésében, s ily módon is csökkentse a gyártás költségeit, valamint saját rizikóját is. S bár terjed a kombinált szállítás, rugalmassága miatt a közúti célba juttatás továbbra is megtartja dominanciáját.

Ebben az esetben mit lehet tenni? Nyilvánvalóan a közúti fuvarozás csökkentése lenne a legkézenfekvőbb, hiszen egy vasúti mozdony környezetre gyakorolt hatása kevesebb, mint három-négy teherautóé, ugyanakkor több százszoros mennyiséget képes elszállítani. Problémát a vasúti szállítás flexibilitása okoz. Természetesen fel lehetne gyorsítani a közúti infrastruktúra fejlesztését is, ennek egy sor pozitív hatása lenne (munkahelyteremtés, a gazdaság növekedése), ezt azonban jelentős részben az államok finanszírozzák, emiatt lassú, és társadalmi tiltakozással is jár (például Németország nyugati felében újabb autópályák építése gyakorlatilag lehetetlen). Ami lényegesen ígéretesebbnek tűnik, az nem az útjellegű infrastruktúra, hanem az irányítórendszer fejlesztése, melynek kedvező hatása azonnal jelentkezhet. Gondoljunk csak a navigációs rendszerekre, amelyek lehetővé teszik a jármű tervezett útvonalának dinamikus módosítását. Természetesen ezek a megoldások csak bizonyos mértékben tudják kezelni a problémát, de másokkal együtt jelentős hatásuk lehet. A járművek sebességének növelése, illetve a követési távolság csökkentése is megoldást jelenthet, hiszen nőne a közlekedési sűrűség – igaz, vele párhuzamosan nőne a balesetek bekövetkezési valószínűsége is. Hasonló módon a járművek terhelhetősége és méreteinek növelése is megoldást jelenthet – bizonyos hátrányokkal. Az intelligens járműrendszerek ezekben az esetekben kínálhatnak megoldást: ugyanis bizonyos mértékben úgy növelhető a közlekedési sűrűség, hogy nem feltétlenül növekszik a közlekedési balesetek száma.

Mi okozza a problémát, miért nem képes a jármű vezetője a közlekedési baleseteket okozó helyzetek kezelésére? Azért, mert képtelen érzékelni a kicsúszás vagy megpördülés határán kialakult helyzetet, mivel nincs közvetlen információja a jármű dinamikájáról. Az autóversenyzők a kormány folyamatos mozgásával próbálják kideríteni, hogy mikor kerül a jármű

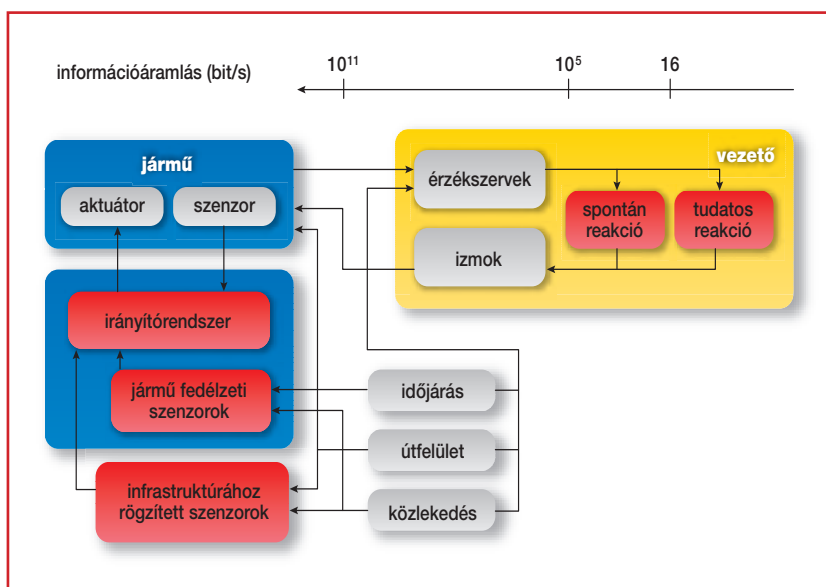




a stabilitás határára, és ennek megfelelően manővereznek. A járművezetők többsége azonban nem versenyző. Az információ hiányán túl további problémát okoz, hogy ha még rendelkezne is a vezető a megfelelő mozgásállapot-visszacsatolással, sem ideje, sem képessége, sem eszköze nincs a helyes beavatkozásra.

Miért következnek be balesetet okozó helyzetek? Ha a 1. ábrára tekintünk, láthatjuk, hogy a járműről, annak környezetéből nagy sebességgel áramlik az információ a vezetőhöz, azonban túl sok idő telik el, amíg abból valamilyen tudatos reakció lesz. Ehhez hozzáadódik még az izmok reakcióideje, ezek függése a vezető pillanatnyi állapotától, valamint az a tény, hogy nem mindenről kap információt. Ezek együttesen okozzák az adott helyzetnek nem megfelelő reakciót.

1. ábra. *Hogyan avatkoznak be az intelligens rendszerek*



Az intelligens járműrendszerek ezt a szabályozó kört nyitják fel, és mind a járműről, mind a jármű környezetéről gyűjtött információ alapján figyelmeztetést küldhetnek a vezetőnek. De be is avatkozhatnak a jármű viselkedésébe: akár úgy, hogy a vezető szándékát támogatják, de úgy is, hogy a vezetőt bizonyos időre felülbírálják, és annak szándékával ellentétes beavatkozást fejtenek ki. Azt gondolom, hogy itt már érezhető az intelligens rendszerek alkalmazásának egyik központi problémája: valóban ki lehet hagyni a vezetőt az irányítási hurokból? Ennek a kérdésnek a megválaszolása ma már kevésbé műszaki, sokkal inkább jogi és erkölcsi kérdés, melyre később még visszatérek. Az előadásban majd látnak megoldást mindkét típusú rendszerre és a köztük lévő átmenetre is.

Az elektronikus járműirányításnak öt szintjét különböztethetjük meg.

- A *legfelső szint* a teljes járműfolyam, a részhalmazok, flották vagy kisebb, önszerveződő csoportok – például katonai járművek – irányítása. Ebben az esetben beszélünk olyan rendszerekről, amelyeknek az elemei egymás között közvetlenül vagy egy központon keresztül elégitenek ki valamely célfüggvényt (például a közlekedés biztonságának növelése, az emisszió csökkentése stb.).

- › A *második szint* a közvetlen jármű–jármű kommunikáción alapuló irányítás, ami az előzőtől abban különbözik, hogy egy adott jármű egy tetszőleges másikkal viszonyított helyzetének megfelelően avatkozunk be, s az nem igényel semmilyen külső formális információt.
- › A *harmadik elem* igen fontos: a jármű fedélzeti szintű irányító rendszere, amely nem az egyes intelligens alrendszereket, hanem a jármű teljes mozgásállapotát befolyásolja.
- › A *negyedik szint* az intelligens jármű-főegységek, más szóval **aktuátorok** (motor, váltó, kormány) szintje. Ezek az egységek kihagyhatatlan résztvevői az intelligens járműirányításnak.
- › A *legelső szint* az úgynevezett platformmegoldások szintje; erre azonban az előadásban nem fogok kitérni.

Aktuátor:

elektromosan, hidraulikusan vagy pneumatikusan működő beavatkozó elem, amely képes valamilyen irányító jelnek megfelelő hatás kifejtésére.

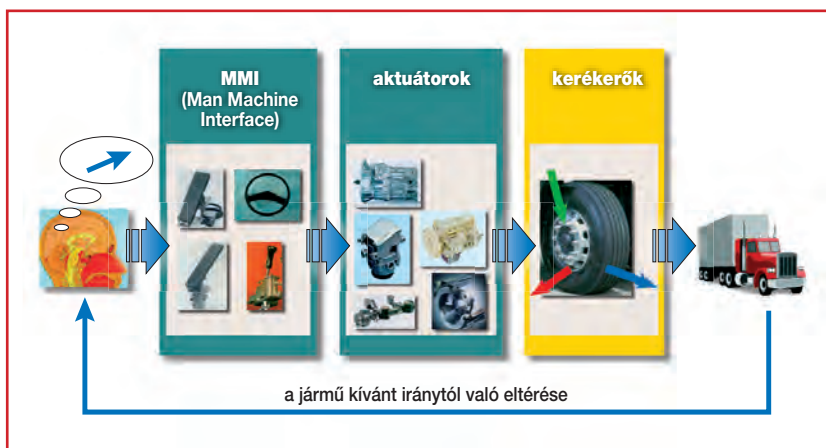
Az irányított járműrendszerek csoportosítása

A csoportosítás egyik szempontja, hogy az adott rendszer működtetéséhez szükség van-e a jármű vezetőjének beavatkozására. A másik szempont a jármű mozgásállapotáról és helyzetéről információt szolgáltató érzékelők, jeledők, szenzorok feladata és elhelyezkedése. Az első csoporthoz tartozó rendszerek érzékelői, szenzorai a járműre vannak szerelve és annak mozgásállapotát mérik. A második csoportban lévő szintén a járműre vannak szerelve, de a közvetlen környezetet figyelik. A harmadik csoport külső forrásból származó információkat szolgáltat a jármű mozgásának befolyásolására.

Alaprendszerek

A vezető tevékenysége szempontjából az első csoportba sorolt rendszerek közös jellemzője, hogy információikkal a vezető közvetlen beavatkozására – azt nem felülbírálva – befolyásolják a jármű viselkedését, és ezzel együtt alapul szolgálnak a további csoportokba tartozó olyan rendszereknek, amelyek valamilyen autonóm beavatkozást igényelnek.

Hogy megértsük az intelligens járműrendszerekbe való beavatkozás lehetőségeit, röviden szeretném bemutatni, hogyan történik a jármű hagyományos irányítása, azaz hogyan vezetünk (2. ábra). Amikor a járművet írá-



2. ábra. A jármű irányítása – ahogy ma történik

Power-by-wire:

az elektronikus motorirányító rendszerek összefoglaló neve; arra utal, hogy a belső égésű motor irányítása elektronikus módon történik egyidejűleg kielégítve több feltételt.

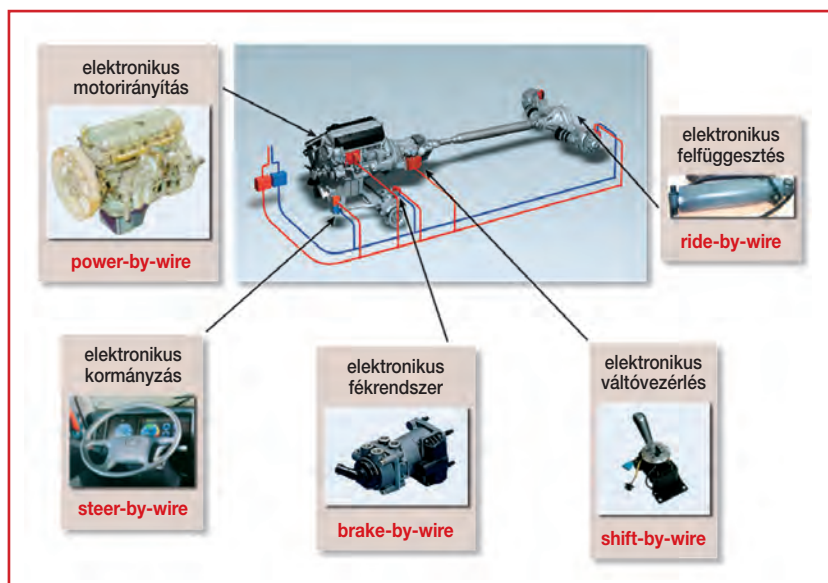
Steer-by-wire:

a kormánykerék és a kormányzott kerekek közötti mechanikus kapcsolat nélkül működő kormány. A vezető szándékát elektromosan méri, és az ebből kiszámított kormányzási szöget valamilyen alkalmas aktuátoron keresztül elektronikusan valósítja meg.

nyítjuk, a vezető egy tervezett mozgást, úgynevezett irányvektort fogalmaz meg, amit aztán a rendelkezésére álló kezelőszervek – kormánykerék, fékpedál, gázpedál, váltókar – segítségével közvetít az egyes, ma még egyenként irányított főegységek, aktuátorok – motor, sebességváltó, kormánymű, fékrendszer – felé. Az ezek által kifejtett hatások – motornyomaték, kormányzási szög, váltófokozat változtatása – eredményeképp a gumibroncs és a talaj közötti erők és nyomatékok a járművet bizonyos irányban mozgatják, amelyet a vezető az általa képzelt irányvektorral összehasonlítva korrigál, továbbra is diszkrét módon, vagyis egyenként.

A vezető az adott főegységgel, aktuátorral a rá vonatkozó szándékát közvetlenül közli, azaz a nyomatékigényét a gázpedál lenyomásával, illetve a váltó megfelelő fokozatba kapcsolásával, az irányra vonatkozó igényét a kormány elforgatásával, a lassulásra vonatkozó szándékát a fékpedál lenyomásával. A kapcsolat a vezető és az adott aktuátor között direkt, az esetek jelentős részében mechanikus, sok esetben pneumatikus vagy hidraulikus. Természetesen az egyes főegységek, aktuátorok már közvetlenül is kommunikálnak egymással. Példaként a kipörgésgátlót lehetne említeni, amely ha a nagy nyomaték hatására kipörgő kereket érzékel, nemcsak a féken keresztül avatkozik be a mozgásba, hanem a motor nyomatékát is automatikusan csökkenti.

Ahhoz, hogy a korábban említett intelligens rendszerek működni tudjanak, szükség van az egyes főegységek, aktuátorok vezetőtől független működtetésére is. Ennek megoldása azonban csak elektronikus lehet, amint az a 3. ábrán látható.



3. ábra. Az intelligens járműirányítás alapját képező rendszerek

Az elektronikus működtetésű rendszerek listája a 3. ábrán közel sem teljes, de ezek azok, melyek a jármű dinamikájára a legnagyobb hatással vannak, azaz az intelligens járműrendszerek ezekbe tudnak beavatkozni. Az elektronikus motorirányítási – angolul a **power-by-wire** – rendszer lehetővé teszi a tetszőleges, gázpedál állásától független nyomatékigény kielégítését, a kormányrendszerbe való elektronikus beavatkozás – **steer-by-wire** –

bizonyos feltételek mellett megvalósítja az autonóm kormányzást, az elektronikus fékrendszer – **brake-by-wire** – az autonóm fékezést, a váltó elektronizálása pedig a megfelelő fokozat kiválasztását teszi lehetővé, de a felfüggesztés jellemzői is módosíthatók.

Fékrendszer

Az elektronikus fékrendszer, illetve amit ma ezen értünk, haszonjárművekben már 1996 óta szériafelszereltség, személygépkocsikban pedig most kezd elterjedni. A rendszer az irányítása szempontjából valóban „brake-by-wire”, hiszen a vezető lassulásra vonatkozó igényét egy úgynevezett redundáns – egyszerre több jelet szolgáltató – szenzorral mérjük, majd egy sor más jellemző alapján a központi vezérlőegység kiszámítja, hogy az adott keréken milyen fékezési nyomatókat kell megvalósítani, és a kerékhez közeli **elektropneumatikus**, hidraulikus vagy távlatban az **elektromechanikus** aktuátor azt végrehajtja. Ilyen értelemben nincs közvetlen (mechanikus, pneumatikus) kapcsolat a fékpedál és a kerékfék között. Az eddigi tapasztalatok alapján ezek a rendszerek nagy megbízhatósággal működnek. Ami miatt mégis minden jármű fel van még szerelve hidraulikus vagy pneumatikus vészvisszaállító, úgynevezett **back-up rendszerrel**, az a vevői igény és bizonyos fokú bizalmatlanság. De ez a rendszer a fékezési folyamatban csak akkor vesz részt, ha az elektronikus rendszer meghibásodik. A 4. ábrán látható rendszer jelölése 1E + 2P, ami egykörös elektronikus és kétkörös pneumatikus rendszert jelent. (Megjegyzem, jogszabályi szempontból elég lenne az 1E + 1P, azaz egy elektronikus és egy pneumatikus felépítésű rendszer is.)

A fenti fékrendszer – mivel a féknyomaték anélkül is kifejthető, hogy a vezető a fékpedálra lépne – egy sor fékfunkció alapját képezi, melyet a hagyományos rendszerekkel nem lehet megvalósítani. Ilyen a vontató és vontatmány összehangolását, kompatibilitását megvalósító vonóponti erőszabályozás, vagy az úgynevezett **ESP-funkció**, amiről a későbbiekben beszélni fogok.

Bár az **ABS-funkció** nem újdonság, egyike a legfontosabb elektronikus fékfunkcióknak. A képek úgynevezett osztott tapadású felületen való féke-

Brake-by-wire:

a vezető fékezésre vonatkozó igényét a pedálba épített elmozdulás/elfordulás jeladóval mérik, és a járművön gyűjtött egyéb információk alapján a fékrendszer központi vezérlőegysége által kiszámított, az adott kerékre vonatkozó fékerőigényt a kerékhez közel lévő, elektronikusan vezérelt fékező aktuátorral fejtik ki. A fékpedál és a kerékfék-aktuátor közötti kapcsolat tisztán elektronikus.

Elektropneumatikus:

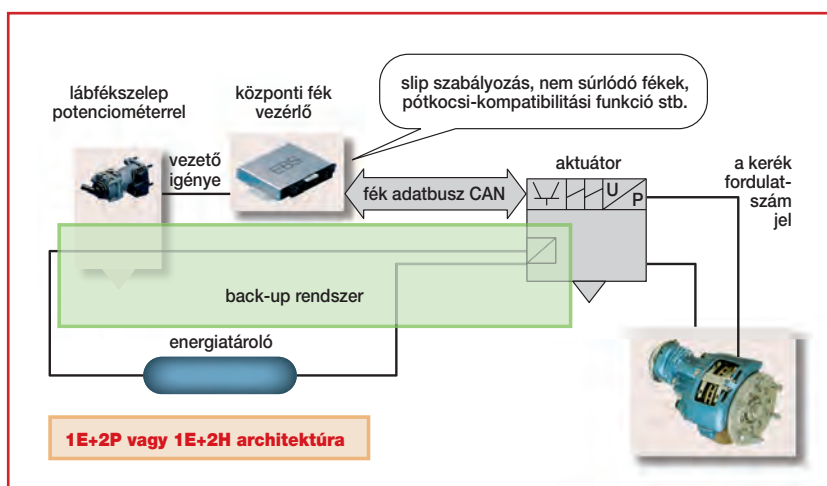
olyan aktuátor, amelyben a munkaközeg a sűrített levegő, ennek irányítása azonban elektronikusan történik. Ezek alkalmazásának indoka az, hogy a pneumatikus irányítás – a levegő összenyomhatósága miatt – nehézkes.

Elektromechanikus:

elektronikusan irányított vagy működtetett mechanikus beavatkozó elem. A munkát vagy elektromos motor, vagy alkalmas módon tárolt energia irányításával végezzük.

Back-up rendszer:

vészrendszer arra az esetre, ha az elsődleges rendszer a funkcióját nem tudja ellátni, és teljes kiesése veszélyes helyzethez vezetne. Elektronikus fékrendszerek esetén például a pneumatikus back-up rendszer biztosítja az alapfunkció (fékezhetőség) meglétét.



4. ábra. Elektronikus fékrendszer (Brake-by-wire)

ESP-funkció:

menetdinamikai szabályozó rendszer, amely a jármű egyes kerekeinek fékezésével biztosítja a vezető által kívánt iránytartását. A kerekek egyoldalú fékezésével a járműre olyan nyomatókót fejt ki, amely azt a kívánt irányba forgatja.

ABS-funkció:

blokkolásgátló rendszer, amely megakadályozza az egyes kerekek teljes lefékeződését és megállását, amikor a jármű még halad. A jelentősége az, hogy blokkolt kerekekkel a kerek és a talaj között átvihető erő lényegesen lecsökken, ami egyrészt a fékút növekedését, másrészt a jármű irányíthatatlanságát okozza.

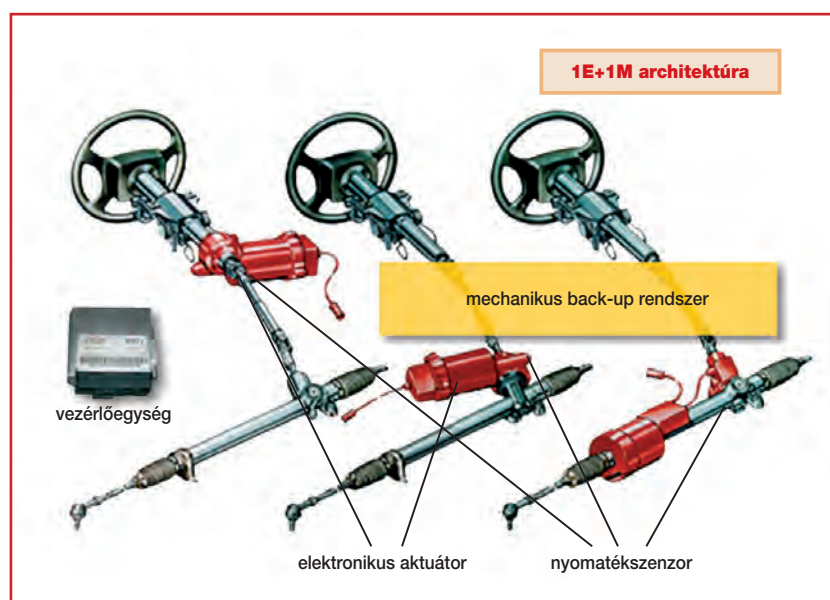
zést mutatnak, az első esetben ABS nélkül, a másodikban ABS-szel. Jól látszik, hogy az elektronika beavatkozása nélkül a vezetőnek nincs lehetősége a kialakult helyzet befolyásolására, míg az ABS rendszer ugyanolyan feltételek mellett stabil járműmozgást eredményez.

Ezt a manővert mindenki kipróbálhatja, akinek van ABS-szel felszerelt autója (akiében nincs, az legyen ezzel óvatos). Azért mutattam be, hogy lásuk, hogyan lehet az egyébként már majdnem optimális járműviselkedést más elektronikus rendszerek integrálásával tovább javítani.

Kormányzás

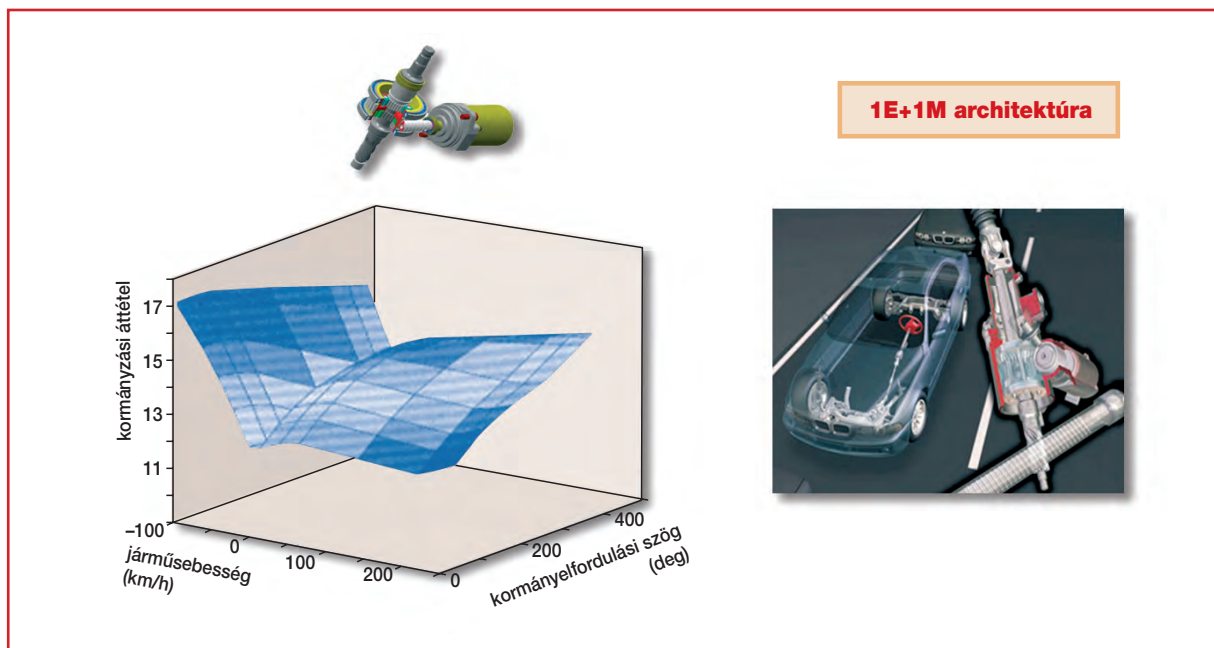
A járműdinamikára és a jármű-irányíthatóságra gyakorolt szempontból a kormányrendszer a másik leglényegesebb elektronikusan irányítható alrendszer. A hagyományos kormányrendszerek esetén a vezető kormánykereken kifejtett, kormányzásra vonatkozó szándékát mechanikus szerkezettel visszük át a jármű kormányzott kerekeire, és a jármű tengelyterhelésétől függően nyújtunk a vezető számára rásegítést. Hagyományosan ez hidraulikus rendszerrel valósul meg, ami drága berendezés, és az irányíthatósága nehézkes. Emiatt egy sor, a jármű kormányzását javító funkció megvalósítása akadályokba ütközik. Ez indokolja azt, hogy alapvetően személy-, de hamarosan haszonjárművekben is alkalmazásra kerülnek az elektromos motorral támogatott kormányrendszerek. A 5. ábra három különböző megvalósítást mutat, amelyek csak a szervomotorok elhelyezkedésében különböznek, a működésük megegyezik. A rendszer méri a vezető által kifejtett kormányzási nyomatókót, és ennek, valamint további járműjellemzőknek a függvényében fejt ki rásegítő nyomatókót. Ha a kormánykereket a kormány szerkezettel összekötő rúd eltörik, a rendszer továbbra is alkalmas kormányzásra, azaz a rendszer valódi elektronikus kormány, úgynevezett steer-by-wire, ami a fékrendszer analógiájára 1E + 1M felépítésű, azaz az elektronikus rendszer mellett rendelkezik egy mechanikus vészvisszaállítóval (back-up).

5. ábra. Elektronikus nyomatókórősegítésű kormányzás



A bemutatott, úgynevezett nyomatékrásegítéses elektronikus kormányrendszer egy sor feladatot végrehajt, ami a kormányzást könnyíti és a kormányzási érzést javítja. Ilyen például a sebességtől függő rásegítő nyomaték közlése, ami kis sebességnél nagy, a sebesség növekedésével csökken, vagy ilyen a sebességfüggő kormány-visszatérítés is.

Az elektronikus kormányrásegítés másik típusánál a kormányzási áttételt lehet változtatni, azaz a rendszer módosítja – növeli vagy csökkenti – a vezető által kívánt kormányezőget. A 6. ábra a BMW legutolsó sorozatában szériában kapható rendszert mutatja, amely szintén bizonyos módosításokkal alkalmas elektronikus (itt vezetőfüggetlen) kormányzásra. Ezt a tulajdonságát a fékrendszeralapú menetdinamikai szabályozóval való integrációnál használják ki.



Mindkét előbb bemutatott, mechanikus kapcsolattal rendelkező kormányrendszer még csak egy közbeeső lépés a teljesen elektronikus kormány felé, amelyben a kormánykerék és a kormányzott kerekek közötti állandó mechanikus kapcsolat megszűnik, mint az a 7. ábrán látható. A kormányzott kerekeken kialakuló kormányező itt már nem feltétlenül a vezető közvetlen kormányzási manőverezésének felel meg, de a vezető által kívánt haladási irányt valósítja meg. Természetesen ez a rendszer – hasonlóan az elektronikus fékhez – más infrastruktúrát igényel a járműben mind a kommunikációt, mind az energiaellátást illetően.

Mint az elmondottakból látszik, az elektromos kormány az autonóm járműirányítás egyik legfontosabb eleme.

Váltóvezérlés

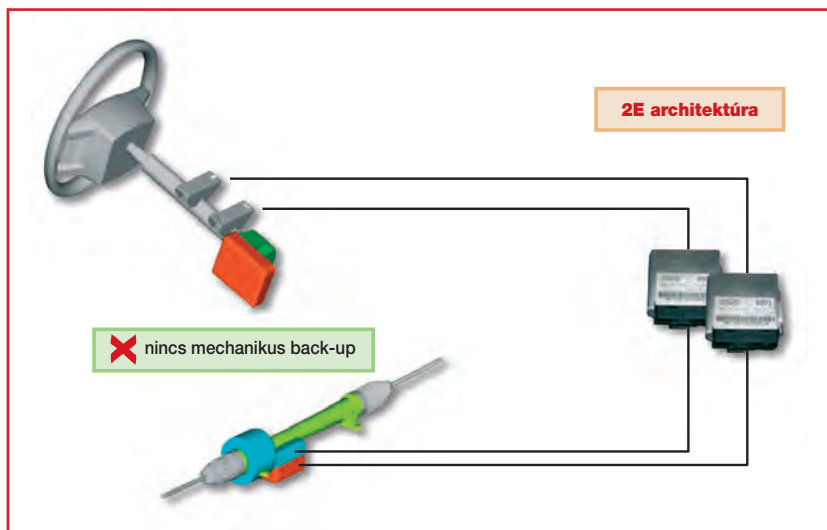
A **drive-by-wire** rendszer következő eleme az automatizált sebességváltó, amely közvetlen mechanikus kapcsolat nélkül működtethető. Ilyen váltók ma már kis kategóriájú járművekben is megtalálhatók, ezért nem akarok itt

6. ábra. Elektronikus kormányzás szőgrásegítéssel

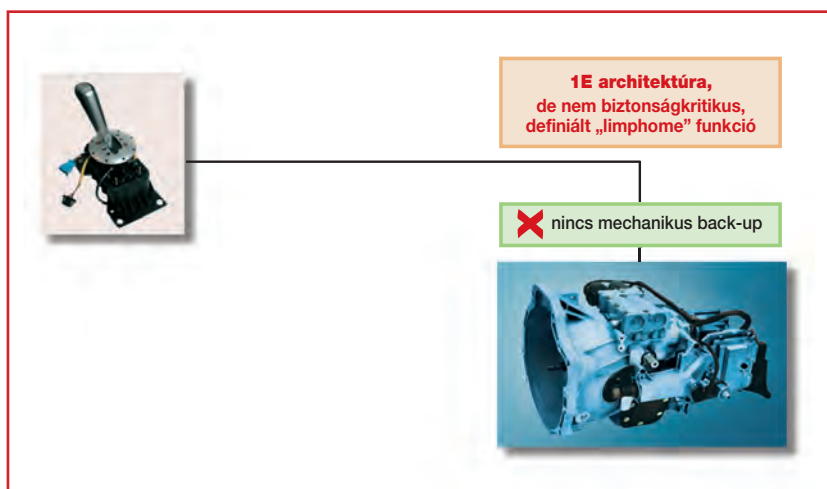
Drive-by-wire:

a tisztán elektronikusan irányított rendszerek összefoglaló neve, amikor a vezető és a jármű mozgását befolyásoló rendszerek között csak elektronikus kapcsolat van, azaz csak „dróton” keresztül történik a jármű irányítása.

7. ábra. Elektronikus kormányzás –
mechanikus back-up nélkül



8. ábra. Elektronikus váltóvezérlés
(Shif by wire)



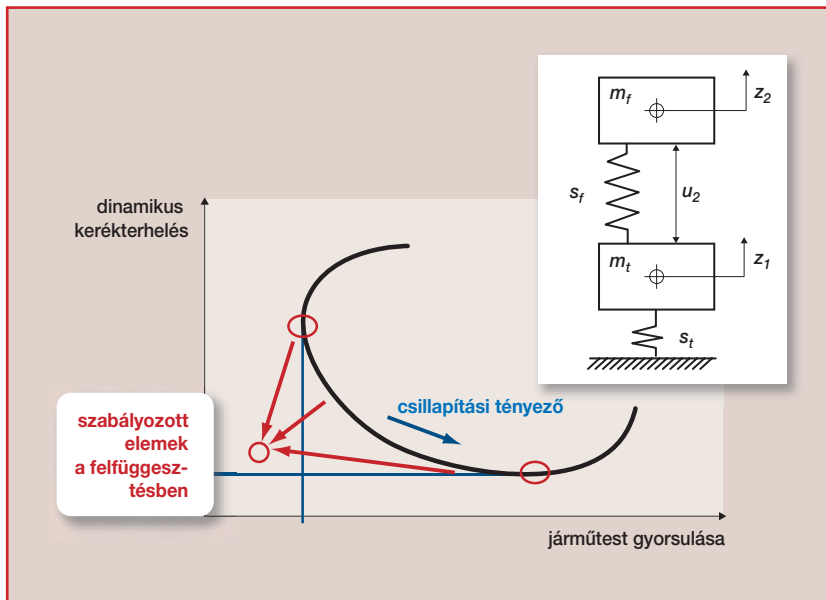
Limp-home funkció:

nem biztonságkritikus jármű-rendszereknel, ha az elsődleges rendszer meghibásodik, rendszerint létezik egy olyan definiált állapot, amelyben a jármű csökkentett teljesítménnyel és funkcionalitással ugyan, de képes „hazasántikálni”, azaz az utat elhagyni vagy a következő műhelyig eljutni.

részletekbe bocsátkozni. Meg kell említeni, hogy az ilyen váltó nem tekinthető biztonságkritikus járműrendszernek (8. ábra), ezért az egykörös elektronikus felépítés (1E) kielégíti a rendelkezésre állás követelményeit. Az elektronika meghibásodása esetén rendszerint elérhető egy úgynevezett **limp-home funkció**, azaz a váltó egy olyan módba kapcsolható, amelyben biztonsággal elhagyható a meghibásodás helyszíne, és elérhető a legközelebbi autójavító.

Felfüggesztésszabályozás

A járművek lényeges eleme a felfüggesztés, aminek az irányítása fontos helyet foglal el a jármű-szabályozási stratégiában. A felfüggesztéssel szemben támasztott követelmények összetettek: egyrészt meg kell valósítania a járműtest megfelelő lengéskényelmét, másrészt a keréknek az úton tartását és egyéb, a jármű dinamikája szempontjából fontos funkciókat. Passzív elemek alkalmazásával a kétféle követelmény nem elégíthető ki (a 9. ábrán látható úgynevezett C görbéről nem tudunk letérni), ha azonban a felfüggesztést szabályozott elemekkel egészítjük ki, mindkét feltételt egyidejűleg optimalizálható, és a 9. ábrán látható célfüggvény értéke optimalizálható.



9. ábra. Elektronikus felfüggesztés-irányítás

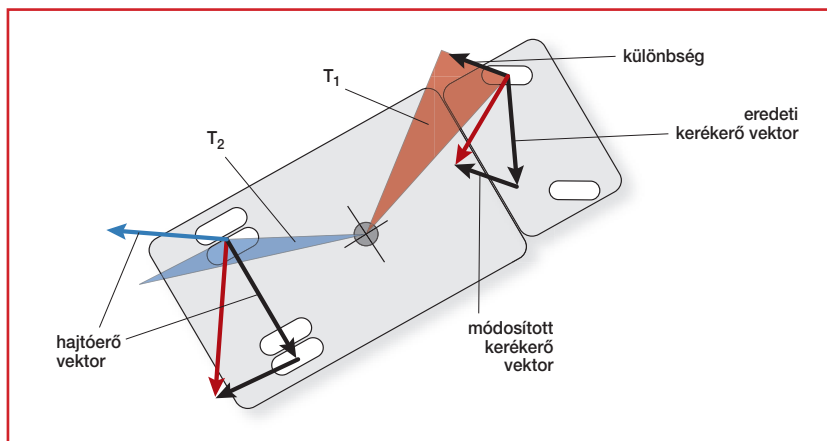
A felfüggesztés szabályozása több módon is elérhető. Aktív felfüggesztésről beszélünk akkor, amikor a járműtest és a kerék mozgásállapotától független erőt tudunk kifejteni, azaz szabályozott módon energiát vihetünk a rendszerbe, illetve vonhatunk ki belőle. Bár az aktív felfüggesztéssel a korábban említett görbéről majdnem tetszőleges módon le lehet térni, a gyakorlati megvalósítás – elsősorban az energiaigénye miatt – nem minden esetben egyszerű. Ezért a gyakorlatban a lengéscsillapító szabályozásán alapuló úgynevezett félaktív felfüggesztés van. Itt a szabályozás alapelve az, hogy amikor a lengéscsillapító által kifejtett erő ellentétes irányú azzal, melyet az optimalitás szempontjából ki kellene fejtenünk, akkor kis csillapító erőre kapcsoljuk, amikor megegyezik, akkor nagy erőre. Az e típusú szabályozás viszonylag egyszerű, mivel szabályozott módon emészti fel a lengésenergiát.

A vezetőt támogató autonóm rendszerek

A következő csoportba tartozó rendszerek még mindig a járműre szerelt érzékelők jelei alapján működnek, működésükhöz azonban nincs szükség a vezető közvetlen beavatkozására, mert a kialakult és az általuk optimálisnak ítélt mozgásállapot közti különbség hatására jönnek működésbe. Ilyen értelemben már autonóm rendszereknek tekinthetők, közös jellemzőjük azonban, hogy a vezetőt nem bírálják felül, hanem támogatják az általa meghatározott irány követésében. Idetartoznak a menetdinamikai szabályozó rendszerek, amelyek az előző részben bemutatott elektronikus beavatkozó szerkezeteket felhasználva befolyásolják a jármű dinamikáját.

A menetdinamikai szabályozó rendszereket két csoportba lehet osztani: az egyik a jármű síkbeli – tehát az út síkjában való – dinamikáját befolyásolja, a másik az út síkjától eltérő mozgásokat – dőlés, bólintás – tudja megváltoztatni.

10. ábra. Menetdinamikai szabályozó rendszer – síkbeli szabályozás



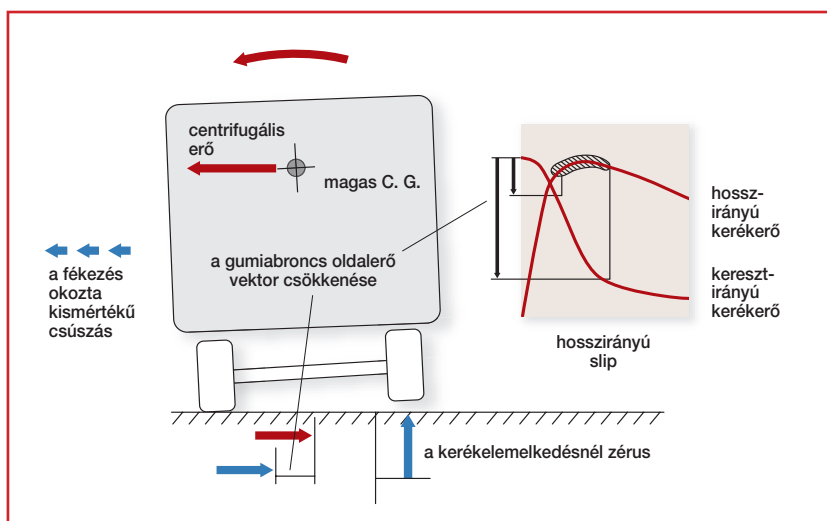
Síkbeli szabályozás

A menetdinamikai szabályozó rendszerek közös tulajdonsága, mint az a 10. ábrán látható, hogy a jármű és a talaj közötti erővektor irányát és nagyságát módosítják. Ha a modell első tengelyének bal kerekéhez tartozó erővektort nézzük, láthatjuk, hogy a hátsó tengelyen lévő kerekeken fellépő oldalero lecsökkenésekor az első tengelyen fellépő nagy oldalirányú erő a járművet megperdíti a tömegközépponti tengelye körül, és a jármű kiperdül. Hasonló kiperdülést idézhetünk elő, ha rossz tapadású úton kanyarodás közben behúzzuk a kézféket. Logikusan adódik a következtetés, hogy ebben az esetben az első tengelyen lévő kerékre ható oldalirányú erő lecsökkentésével a helyzet kezelhető lenne. A vezetőnek azonban nincs erre lehetősége, a menetdinamikai szabályozó rendszer viszont éppen ezt teszi: a korábban bemutatott elektronikus fékrendszeren keresztül tudja fékezni ezt a kereket, és ezzel olyan, a sátirozott területtel arányos nyomatókat képes kifejteni, ami a járművet stabilizálja.

Borulásszabályozás

Hasonló elven működik a jármű borulását felismerő és megakadályozó rendszer, ami szintén a kerékerők befolyásolásán alapszik. Magas tömegközéppontú járművek (SUV, haszonjárművek) esetén a túl nagy kanyaro-

11. ábra. Menetdinamikai szabályozó rendszer – dőlésszabályozás



dási sebesség ahhoz vezet, hogy a „centrifugális” erő és a kerék talppontjában oldalirányban fellépő erő alkotta erőpár a járművet felborítja. Logikusan adódik a következtetés, hogy ezen erőpár nyomatókának csökkentésével a felborulás elkerülhető. Mint az a 11. ábrán látszik, az adott oldali kerék blokkolásával (illetve nagy **slippel** való fékezésével) az oldalirányú erő jelentősen csökken, és természetesen csökken a jármű sebessége is, ami a centrifugális erő csökkenéséhez vezetve stabilizálja a jármű mozgását.

Virtuális modellt követő szabályozás

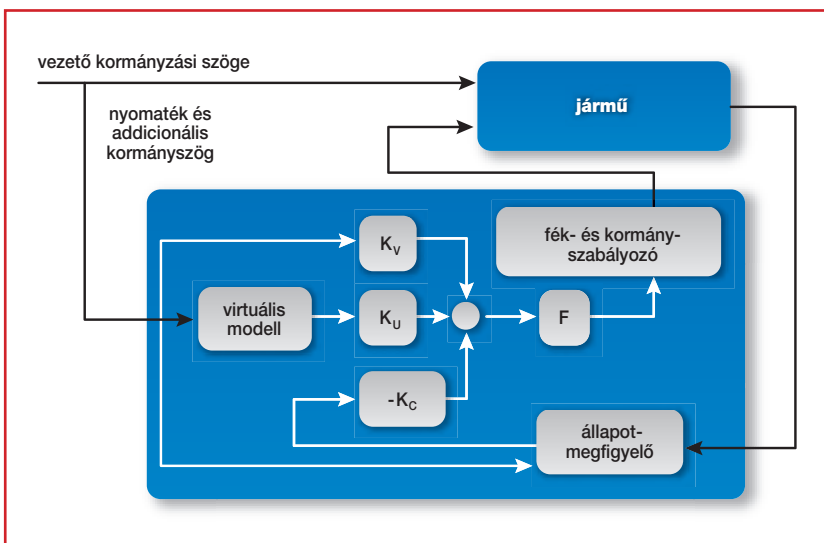
Hogyan kell tervezni a menetdinamikai rendszer szabályozási algoritmusát? A tervezéssel szemben alapvető követelmény, hogy a rendszer a vezető kormánykeréken keresztül kifejezett szándékát (mivel a rendszer más bemenettel nem rendelkezik) kövesse, azaz egy alkalmasan definiált, úgynevezett referencia- vagy virtuális járműmodellből kiszámítjuk az adott kormányzószöghöz és az aktuális sebességhez tartozó legyezési szögsebességet. Amennyiben a járművön mért érték ettől bizonyos határon túl eltér, a fék- vagy a kormányrendszeren keresztül beavatkozunk. Az irányító algoritmust, a 12. ábrán látható referenciamodellt úgynevezett követő szabályozásként tervezzük. A fentiek azt is jelentik, hogy a rendszer minden esetben végrehajtja a vezető támogatását, tehát ha ő rosszul kormányoz, a rendszer – hogy úgy mondjam – „segíteni” fogja az utat szegélyező árok irányába is. Még egy fontos jellemzője van ezeknek a rendszereknek: az úgynevezett **fail silent**. Amennyiben a rendszer hibát észlel (valószínűtlen szenzorjel, vagy a beavatkozás hatásossága csökken aktuátorhiba miatt stb.), akkor biztonságosan kikapcsol. De az nem történhet meg, hogy nem a vezető által kívánt irányban avatkozik be. Ezt a rendszer bonyolult biztonságiszoftver-része garantálja.

Slip:

a nem tisztán gördülő kerék jellemzője, amikor is a jármű sebessége nem egyezik meg a kerék kerületi sebességével. A kettő különbségének a jármű sebességére vonatkoztatott százalékos értéke a slip.

Fail silent:

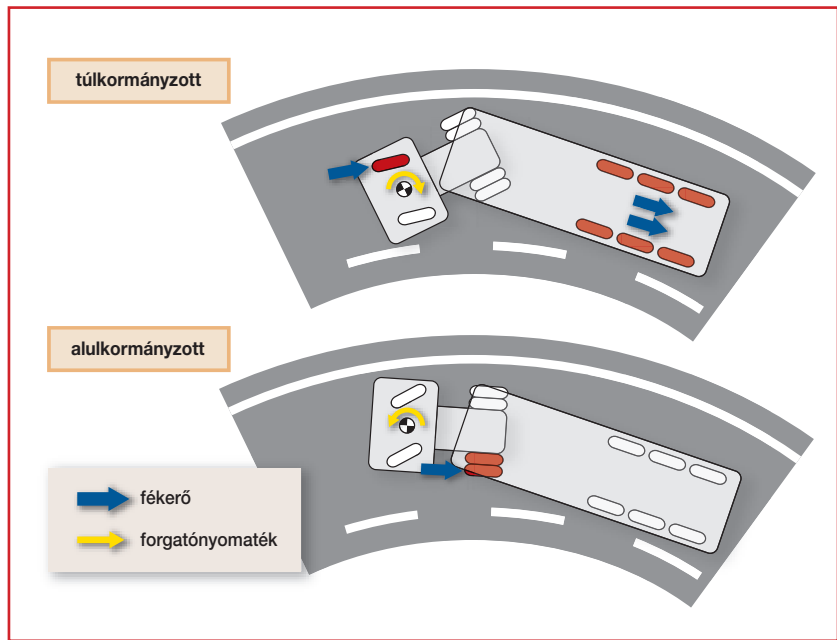
adott rendszer hibatoleranciájának az egyik foka. Az ilyen rendszerek valamely fellépő hiba esetén biztonságosan kikapcsolnak, azaz az adott funkció egyáltalán nem lesz elérhető; általában az alapfunkciót nem érintő kiegészítő rendszerek ilyenek (ESP, ABS).



12. ábra. Szabályozó – virtuális modellt követő szabályozás

Mit jelent a fékrendszer alapú menetdinamikai szabályozó működése a gyakorlatban? A 13. ábra felső részén látható túlkormányzott jármű – ami a vezető ellenkormányzása ellenére kanyarodik – stabilizálható a kanyar szerinti külső első kerék és a pótkocsi fékezésével. Az alsó ábrán a vezető el kormányzása ellenére a jármű egyenesen tovább haladna, a kanyar oldali belső

13. ábra. Elektronikus menetdinamikai szabályozó rendszer csuklós járművekre



kerék egyoldalú fékezésével azonban olyan nyomatékot tudunk kifejteni, amely a járművet a kanyar irányába forgatja.

Mint korábban említettem, az elektromos kormány (mind a nyomaték-, mind a szögásegítésű, illetve a teljesen elektronikus vészvisszaállító – backup – nélkül) lehetőséget ad a jármű dinamikájának aktív befolyásolására a kormányon keresztül is. A következő generációs menetdinamikai szabályozó rendszerek a fékrendszereken kívül a kormányba is be tudnak avatkozni annak érdekében, hogy a jármű viselkedését stabilizálják. Ha például a vezető folyamatos gázadással állandó sugarú körön próbál kanyarodni, akkor hagyományos rendszer esetén a növekvő sebesség miatt a jármű kiperdülne. A vezető ellenkormányzással és gázelvétellel képes lehet ezt kompenzálni, de ez nagy gyakorlatot igényel. Az elektronikus kormány alapú menetdinamikai szabályozó rendszer érzékeli ezt a helyzetet, és ellenkormányzással, valamint gázelvétellel a járművet a kívánt irányba kormányozza. Fontos megjegyezni: bár a kormánykerék (azaz a vezetőnek az irányra vonatkozó szándékát kifejező jel) nem úgy áll, mint a kormányzott kerekek, ez a rendszer sem bírálja felül a vezetőt, hiszen a jármű abba az irányba halad, amerre a vezető kívánja.

A kormány és a fékrendszer integrációja

A kormány- és a fékrendszer-alapú beavatkozás további lehetőségeket kínál. Az ABS – blokkolásgátló – rendszer tervezése egy sor kompromisszumot tartalmaz. Ilyen például az egyenetlen tapadású felületen való fékezés, amikor az egyik oldali kerekek alatti tapadás lényegesen különbözik a másik oldalitól. A két követelmény, melyet ki kell elégíteni, nevezetesen a fékút és a vezető kormányzási korrekciója, egymással ellentétben áll. Ha csökkenteni akarjuk az utóbbit, az úgynevezett select low stratégiát kellene alkalmaznunk (14. ábra), azaz mindkét oldalt a kisebb tapadású helyen elérhető fékerővel fékezzük. Ez esetben ugyan nem keletkezik nyomaték, azaz

a vezetőnek nem kell azt kompenzálnia, de a fékút hosszabb lesz, mivel nem használjuk ki maximálisan a nagyobb tapadású oldalon elérhető fékerőt. A másik lehetőség, hogy a járművet a nagyobb tapadású oldalon elérhető fékerővel fékezzük. Ekkor természetesen a fékút csökken, a vezetőnek azonban jelentősen többet kell kompenzálnia – ha tud egyáltalán; ez az úgynevezett select high stratégia (15. ábra).

Az ABS e két követelmény közötti kompromisszumos helyzetet eredményezi. Ha azonban a fenti helyzetben az elektronikus kormányon való beavatkozással már a fékezés kezdeti szakaszában tudjuk a folyamatot befolyásolni, a fellépő kitérítő nyomaték lényegesen kisebb lesz, és nagyobb fékerőkülönbséget engedhetünk meg.

Ha a hagyományos járművel és az elektronikus kormányval való fékezést hasonlítjuk össze, azt látjuk, hogy az adott manőver a vezetőtől több mint 120 fokos ellenkormányzást igényel, és emiatt a rossz és a jó tapadású oldal között kisebb fékerőkülönbség engedhető meg.

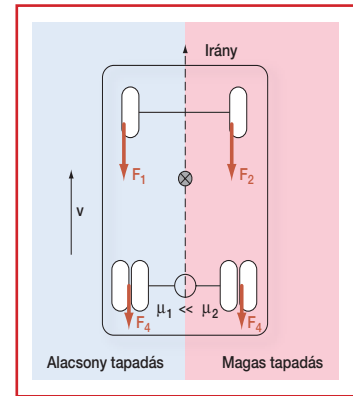
Az elektronikus kormányval való beavatkozással a harmadára csökken a vezetőtől kívánt kormányzási beavatkozás, miközben a kormányzott kerekek természetesen a korábbihoz hasonló nagyságrendben kormányzódnak, miáltal a fékerőkülönbség nagyobb lehet, s ez a fékút csökkenését eredményezi.

Az elektronikus kormányval való beavatkozás – amellet hogy majdnem harmadára csökkentette a vezető beavatkozását – közel 10 százalékos fékútcsökkenést eredményezett. Ez nagyon jelentős, mivel a forgalom biztonságára kiemelkedő hatással van. A fenti példa jól mutatja, hogy az elektronikus rendszerek alkalmas integrálásával hogyan növelhető az egyes szerkezetek hatásossága, és egy első hallásra veszélyesnek tűnő rendszer, mint az elektronikus kormány, milyen módon tudja növelni a közlekedés biztonságát.

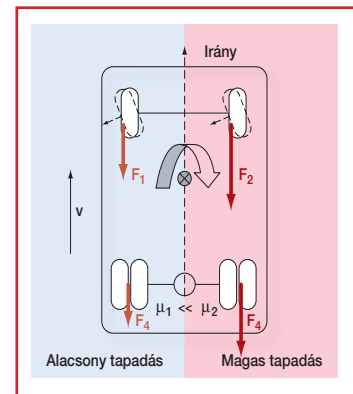
A jármű környezetét figyelő figyelmeztető rendszerek

Most rátérek az intelligens rendszerek következő típusára, amelyek alapvetően a járművön lévő szenzorok alapján gyűjtenek információt a jármű környezetéről, és ezek alapján figyelmeztetik a vezetőt, illetve az információt egyéb célokra használják fel.

A 16. ábra a jármű közvetlen környezetének ma is létező – bár még nem széles körben elterjedt – megfigyelési lehetőségeit mutatja. A távoli objektumok felismerését a 77 GHz-es radar végzi. Ennek egyik alkalmazási területe a későbbiekben bemutatásra kerülő adaptív sebességtartó berendezés, de lehet használni a vezető figyelmeztetésére is. Az infraszensor az úton tartózkodó személyeket teszi láthatóvá a vezető számára rossz látási viszonyok mellett. A videokamera a jármű pozícióját határozza meg a sávhatárokhoz képest, de alkalmas a radar által azonosított objektumok osztályozására is. A jármű közvetlen környezetét figyelik meg a kis hatótávolságú radarok és az ultrahangos szenzorok. Ezeket ma is elterjedten alkalmazzák (lásd tolatóradar). De további lehetőségeik is vannak: megfigyelhető például a tükörből nem látható terület, figyelmeztetheti a vezetőt a sávváltás veszélyeire stb.

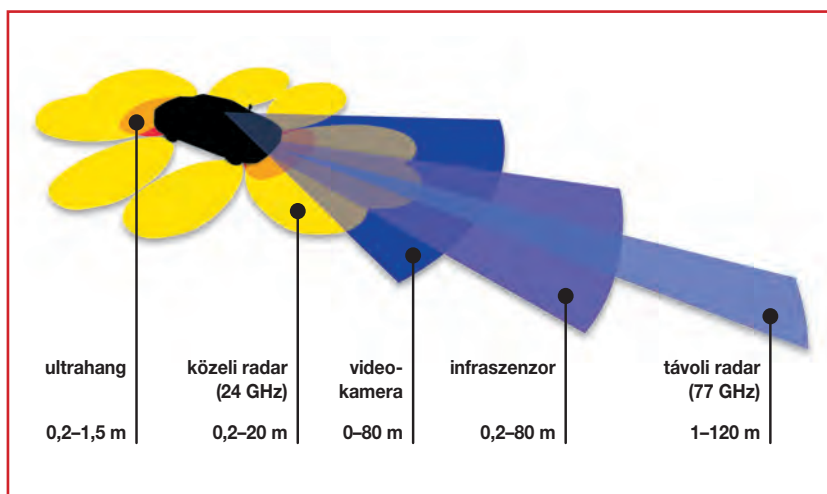


14. ábra. Select low stratégia



15. ábra. Select high stratégia

16. ábra. Jármű környezetének a megfigyelése



Bár a szenzorok pontossága és megbízhatósága megfelelő, alkalmazásuk biztonságkritikus rendszerekben még nem elterjedt. Ennek nem műszaki, hanem jogi és erkölcsi akadályai vannak: kiküszöbölhető-e teljesen a vezető az irányítási hurokból, s ha igen, akkor az esetlegesen mégis bekövetkezett baleset felelőssége kit terhel? A vezető, aki nem volt a szükséges képességek birtokában az adott pillanatban vagy a rendszer gyártóját? Ez az a kérdés, ami alapvetően meghatározza az autonóm intelligens rendszerek elterjedését.

A jármű környezetének a megfigyelésében nagyon fontos elem az adott útfelület tapadási tényezőjének meghatározása. A tapadás mértéke folyamatosan változik, és több rendszer szempontjából fontos lenne értékének a meghatározása. Egyik mód lehet magának a járműnek szenzorként való használata. Az adott útfelületen haladó jármű kerekei általában valamilyen slippel gördülnek. A hozzá tartozó vonó-, illetve fékezőerő a jármű egyéb rendszereiből meghatározható. A probléma az, hogy a tapadási tényező még a jármű és a környezet paramétereitől is függ. Ezeket át kell számítani egy adott normálállapotra, amelyből egy referenciamodell használatával a normalizált jellemzők akár műholdon, akár az adott helyhez rögzített jeladón, akár a járművek közvetlen kommunikációján keresztül átvihetők az adott helyhez közelítő járműre. Az a saját jellemzői alapján újra kiszámítja a járműspecifikus jellemzőt, ami aztán felhasználható a vezető figyelmeztetésére, szakaszban haladó járművek esetében pedig a követési távolság meghatározására.

Stop-and-go rendszer:

az autonóm járműirányító rendszer egyik funkciója, amely képes a jármű automatikus elindítására és megállítására anélkül, hogy a vezető bármit tenne. Városi forgalomban, dugóban tehermentesíti a jármű vezetőjét.

A jármű környezetét figyelő beavatkozó rendszerek

A következő csoportba tartozó rendszerek már be is avatkoznak a folyamatokba, bár nem válnak el teljesen az előzőekben ismertetett figyelmeztető rendszerektől, és a szenzorok is megegyeznek: például a jármű hosszirányú dinamikáját befolyásoló adaptív sebességtartó berendezés, az ezen az alapon működő úgynevezett vészfékezési funkció. De idetartoznak a városi forgalomban valóban automatikus haladást megvalósító úgynevezett **stop-and-go**, azaz a jármű teljes autonóm megállását és elindítását végrehajtó rendszerek is.

Most az ezekhez tartozó automatikus fék- és kormányrendszerekkel, valamint az ezeken alapuló sávtartást megvalósító rendszerekkel fogok foglalkozni, a jármű útjában álló akadályok teljes kikerülését célzó perspektivikus rendszerekről nem beszélek.

Adaptív sebességtartás

A hagyományos sebességtartó berendezéseknél a jármű vezetője a kívánt sebességet állítja be, amelyet aztán az elektronika az útviszonyoktól függetlenül a motor nyomatékának változtatásával állandó értéken tart. Az ACC (adaptive cruise control, adaptív sebességtartó berendezés) a korábban már említett távoli radarral felszerelve képes érzékelni az előttünk haladó jármű távolságát, és tartani tudja az előre beállított értéket – ugyancsak a motor-nyomaték változtatásával, illetve szükség esetén a fékrendszerbe való beavatkozással. E rendszer alkalmazásának célja: a vezető bizonyos fokú tehermentesítése. Az adaptív sebességtartó berendezést ma komfortrendszerként értékesítik, mivel az általa elérhető legnagyobb lassulás–gyorsulás nem haladhatja meg a 0,3 g-t, azaz a rendszer nem alkalmas sem vészfékezésre, sem agresszív gyorsításra. Ennek indoka, hogy a jármű irányítását mindenképpen a vezető kezében kívánja hagyni, azaz ha a fent említett határértéknél nagyobb lassulási igény lépne fel, a rendszer kikapcsol, és az irányítást, valamint a döntést átadja a vezetőnek. Az ilyen használat indoka alapvetően nem műszaki, hanem jogi természetű.

Természetesen felmerül a kérdés, hogy az egyébként műszakilag lehetséges megoldását, amivel emberi életet lehetne megmenteni, tisztán jogi és felelősségi szempontból kell/lehet-e elvetni? Ez a gondolatmenet vezetett ahhoz, hogy a bemutatott adaptív sebességtartó rendszer továbbfejlesztésével hogyan lehet a baleseteket nem feltétlenül elkerülni, de a következményeit mindenképpen csökkenteni. Tipikus helyzet: a jármű vezetője nem látja a kanyar mögött álló járműsor végét, ezért a kanyarba változatlan sebességgel hajt be. A rendszer folyamatosan figyeli a jármű előtt álló objektumokat, és amikor azok távolságát olyannak értékeli, hogy a jármű vezetője már nem tudna beavatkozni, akkor automatikusan működésbe hozza a jármű fékrendszerét, és vészfékezéssel a járművet lelassítja. A balesetet teljesen nem kerüli el, de az ütközési energiát jelentősen, több mint felére csökkentheti. A jogi helyzet is tisztává válik: a vezető nem tudta volna elkerülni a balesetet, tehát a beavatkozással nem állítottunk elő veszélyesebb helyzetet, mint ami bekövetkezett volna, sőt csökkentettük a baleset következményeit. Ilyen módon – bár a vezetőt kizártuk az irányítási hurokból bizonyos időre – jogilag és erkölcsileg a rendszer működése teljesen rendben van.

A sávellhagyás megakadályozása

Az autonóm módon működő rendszerek másik típusa a járműre szerelt videokamera jelei alapján való aktív beavatkozás. Tipikus baleseti helyzet, amikor a jármű vezetője elalszik, és a jármű kihúzódik a sávból vagy nem követi az út kanyarulatait, és emiatt balesetet okoz. Ez a helyzet jól kezelhető olyan módon, hogy a jármű úthoz viszonyított helyzetét egy videokamera jelei alapján folyamatosan előre értékeljük, azaz kiszámítjuk, hogy az

ACC:

adaptív sebességtartó berendezés, amely nemcsak a beállított sebesség folyamatos tartására képes, hanem – amennyiben a radar szenzora a jármű előtt haladó másik autót észlel – egy előre beállított távolság tartására is. Nem biztonsági, hanem kényelmi rendszer.

**Monokamera alapú rendszer:**

a jármű körülötti objektumok, illetve a jármű helyzetének detektálására szolgáló videokamera, amely képes az objektumok bizonyos szintű osztályozására, de természeténél fogva nem képes a távolság mérésére.

adott nagyságú és irányú sebességgel haladva a jármű mikor hagyná el a sávhatárokat. Amennyiben a rendelkezésre álló jelekből (kormányszög, irányjelzők helyzete, fékpedál vagy gázpedál helyzetváltozása) megállapítható, hogy a vezető nem irányítja a járművet, hanem alszik, akkor akár a fékrendszerbe, akár az elektronikus kormányrendszerbe való beavatkozással a jármű iránya korrigálható. A járművön végzett vizsgálatok azt mutatják, hogy a **monokamera alapú rendszer** mind a jól felfestett, mind az elmosódó sávhatárok között képes tartani a járművet csupán a fékrendszer egyoldalú működtetésével. Az előbb említett felelősség kérdése itt is fennáll, ezért a gyártók az aktív beavatkozás helyett itt is az akusztikus vagy az érintési figyelmeztetést választják, azaz a kormánykerék kis nyomatékkaal való elforgatásával figyelmeztetik a vezetőt a kívánt irányra.

Külső információt felhasználó rendszerek

A csoportosításunknak megfelelően következő rendszerek olyan információkat használnak fel, amelyek nem a járműből, hanem a járművek külső környezetéből, másik járműről, műholdakról stb. érkeznek. A környezetből érkező információra korábban már láttunk példát: az adott jármű által felmért tapadási tényezőt lehet az útszakaszhoz közeledő jármű vezetőjének a tudomására hozni, illetve veszélyes útszakaszokon (iskolák, vasúti átkelők környékén) lehet a jármű vezetőjét figyelmeztetni.

A mai gyakorlat szerint a közúti flottairányítás elsősorban a vezető információinak a bővítésével igyekszik a biztonságot növelni részben a környezetről rendelkezésre álló információk, részben pedig a jármű által észlelt információk feldolgozásával.

A flottairányító központ ebben az esetben ismeri a járműflotta egységeinek pozícióját és a járművek mozgásállapotával kapcsolatos, illetve diagnosztikai célú adatait, melyeket mobil kommunikációs hálózaton keresztül kap meg. Ismeri továbbá az útvonaltervet, és az ehhez kapcsolódó forgalmi információkat. Így szükség esetén az útvonal dinamikus áttervezésével, távdiagnosztikával tudja a jármű célba juttatását hatékonyabbá tenni.

A járművek tipikusan fel vannak szerelve GPS-navigációval, valamint kamera-, illetve radarrendszerrel, melyek a jármű biztonságos haladását segítik a tervezett útvonalon, a fedélzeti szabályozási rendszerekre támaszkodva. (Ez utóbbiakat már tárgyaltuk: ilyenek a motor, a kormány, a fék és a menetstabilizátor, illetve a sávelhagyást detektáló vagy megakadályozó rendszerek.)

A flottairányítás sajátossága, hogy minden vezetői funkciót – beleértve a manőverek tervezését és végrehajtását is – a járművezető lát el.

A járműirányítás elvei

Mint az eddigiekben láthattuk, technikailag már ma képesek vagyunk arra, hogy egy járművet vezető nélkül eljuttassunk a kívánt helyre. A jármű szerkezeti fődarabjai (fék, kormány, váltó) alkalmasak az elektronikus irá-

nyításra, a járműre szerelt szenzorok megbízható információt tudnak adni a jármű környezetéről, ami külső forrásból származó jelekkel tovább pontosítható.

Befejezésül az automatikus járműirányítás feltételrendszeréről és filozófiájáról szeretnék röviden beszélni.

E probléma jobb megértése érdekében elemezzük az irányítási szempontból ideális rendszert. A kocsiban utazók határozzák meg, hogy hová hova akarnak eljutni, és ezt az igényüket közlik a jármű vezetőjével. Őt tekinthetjük az elsődleges járműirányítónak, hiszen a kapott igényt lebontja irányvektorok sorozatává – hasonlóan ahhoz, ahogy azt egy navigációs rendszer teszi –, és ezeket a vektorokat a gyeplő segítségével továbbítja a jármű hajtásláncát képező lovaknak. Fontos megjegyezni: a vezető nem azt mondja meg a lónak, hogy melyik lábával mekkorát és hova lépjen, hanem a kívánt irányt jelentő elsődleges irányvektort. Ezt az irányvektort a ló tovább pontosítja, hiszen sem az árokba, sem az előtte haladó járműnek nem megy neki. Az így pontosított irányvektort próbálja megvalósítani. De ha, mondjuk, az út csúszós, akkor a kívánt iránytól való eltérést kompenzálja.

Ez a példa legfeljebb csak a közúti járművek irányításában számít újnak, a hajók és a repülőgépek irányító rendszerei már régen hasonló elven működnek.

A példa analógiájára a közúti járművek irányításában a következő felépítés tűnik célszerűnek: a vezető által kívánt, a támogató rendszerek által pontosított irányvektort a jármű szerkezeti fődarabjainak integrált irányításával valósítjuk meg. Ez azt jelenti, hogy a vezetőfülkéből egy elektronikus jel, maga a kívánt sebességvektor kerül át a jármű hajtásláncának központi vezérlőegységébe, ami az adott mozgásállapot függvényében eldönti, hogy melyik fődarabjától milyen hatást vár el. Amennyiben a jármű a kívánt irányvektortól eltér (például csúszós útfelület, túl nagy sebesség miatt), akkor a menetdinamikai szabályozó rendszer ezt az eltérést korrigálja.

Ha a fenti felépítésben a vezető irányra vonatkozó kívánságát helyettesítjük például a navigációs rendszer jeleivel vagy az útról érkező sebesség- és irányjelekkel, akkor a jármű képes a teljesen vezető nélküli haladásra.

Jelenleg kísérleti fázisban van a másik, teljesen automatizált forgalmi és járműrendszereken alapuló megoldás, amely bizonyos útvonalakon, illetve forgalmi csomópontokon (a járművezető szándékának vagy a megadott útvonalnak megfelelően) a járműveket automatikusan juttatja át.

Az **Automated Highway Systems** (AHS) koncepció szerint a járműveket speciális alakzatokba, úgynevezett szakaszba vagy konvojba csoportosítják automatikusan. Ezek tipikusan tíz-húsz járműből állnak, és jellemzőjük a járművek közötti kis, egy-öt méteres követési távolság biztonságos tartása.

Az irányítás több szinten valósul meg, és mind központi, mind fedélzeti modulokat tartalmaz. A központi funkcióhoz tartozik a teljes AHV-hálózat és a dinamikus útvonaltervezés felügyelete, valamint az egyes járművek manőverigényeinek (felhajtás, lehajtás, sávváltás) tervezése és irányítása.



Optimális járműirányító rendszer

Automated Highway System:

az infrastruktúrával kommunikáló autonóm járműirányító rendszerek összefoglaló neve, amelyek képessé tesznek egyes járműveket, illetve járműcsoportokat az autonóm, vezető nélküli haladásra.



A fedélzeti irányítás a biztonságos utazást valósítja meg, amelyhez az automatikus járműkövetés, valamint a longitudinális és a laterális mozgás dinamikájának irányítása tartozik. A járművek képesek egymással és a központtal is kommunikálni.

A rendszer fontos tulajdonsága a hibadetektálás és a -diagnosztika, valamint az irányítási rendszerek átkonfigurálása a forgalom biztonságának fenntartása érdekében. Ezen funkciók megosztása a fedélzeti és a központi rendszerek között az irányítás- és a kommunikációtechnológia fejlődésének a függvénye.

A rendszerek fejlődésének irányai – egy 1990-es becslés

Hogy mikor fogunk az utakon ilyen járműveket látni? Szeretnék erre vonatkozóan egy 1990-es becslést bemutatni, amelynek az az érdekessége, hogy az eltelt tizenöt év a jóslatok egy részét már igazolta.

Az 1990-es előrejelzés validációja

2010	Az adaptív sebességtartó berendezés tipikussá válik, megjelennek egyszerűbb sávelhagyásra és ütközésre figyelmeztető rendszerek. Zárt pályákon vezető nélküli autóbuszok közlekednek.	✓
2020	A sávelhagyás- és ütközésmegelőző rendszerek kormány- és fék-beavatkozással tipikussá válnak, megjelennek az autonóm járműirányítás bizonyos formái különösen veszélyes helyeken.	✓
2030	Közel minden új járművet felszerelnek ütközés- és nem szándékolt sávelhagyás-megakadályozó rendszerrel. Bizonyos flották alkalmasak autonóm haladásra, alapvetően zárt pályákon.	✓
2050	Az újonnan épült autópályákat már autonóm járművekre tervezve építik, megjelennek olyan tesztjárművek, amelyek a hagyományos közlekedési folyamatban vesznek részt.	?
2070	Az automatikus áruszállító rendszerek tipikussá válnak, emberi beavatkozás nélkül kerül át az áru az egyik szállítóeszköztől a másikra.	?
2100	Az autonóm és a hagyományos járművek együtt közlekednek.	?

Végezetül szeretném megemlíteni az intelligens járműrendszerek kutatásának hazai hátterét. A Budapesti Műszaki Egyetem (BME) és az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Intézete (SZTAKI) együttműködésében közel húsz éve folynak kutatások e témában Magyarországon. Nem utolsósorban e tevékenység hírére több világcég hozta hazánkba ilyen kutatásainak és fejlesztéseinek egy részét, és kiépítették együttműködésüket a hazai fejlesztő helyekkel. Az együttműködés eredményeképp a Budapesti Műszaki Egyetem a magyar kormány Regionális Egyetemi Tudásközpont pályázatán támogatást nyert az Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont létrehozására. E most induló központ tevékenységének célja, hogy az elérhető szaktudást rendszerezze, továbbfejlessze és az iparág többi résztvevőjének a rendelkezésére bocsássa.

Ajánlott irodalom

Amirouche, Farid – Palkovics, László – Woodrooffe, J.: Optimal driver seat suspension design for heavy trucks. *International Journal of Vehicle Design, Heavy Vehicle Systems*, Vol. 2/1 (1995): 18–44.

Fancher, P. – Winkler, C. – Ervin, R. – Zhang, H.: Using Braking To Control The Lateral Motions Of Full Trailers. The Dynamics of Vehicle on Roads and on Tracks, In: Proceedings of the 15th IAVSD Symposium. Bp.: Hungary, 1997.

Glasner, Egon-Christian von: Active Safety of Commercial Vehicles. In: AVEC'94, Tsukuba, Japan, 1994.

Petersen, Eugene – Neuhaus, D. – Glabe, K.: Vehicle Stability Control for trucks and buses. In: International Truck and Bus Meeting. Indianapolis, USA, 1998.

Rohr, S. N. – Mendez, V.: Tire pressure warning system for passenger car applications. In: SAE International Congress and Exposition. Detroit, USA, 1995.

Vaughn, B. K. – Miller, L. L.: A multi-axle steering system for straight trucks. In: SAE International Truck and Bus Meeting and Exposition. Detroit, USA, 1990.

Winterhagen, J.: Das Bremssystem EBS Von Scania. *ATZ Automobiltechnische Zeitschrift*, Vol. 98/9 (1996): 406–407.

Woll, J. D.: Radar Based Adaptive Cruise Control for Truck Applications. In: Electronics and Electrical Systems for Trucks and Buses, International Truck & Bus Meeting & Exposition. Cleveland, Ohio, 1997.

Wrede, J. – Decker, H.: Brake by wire for commercial vehicles. In: SAE International Truck and Bus Meeting and Exposition, Toledo, USA, 1992.

Yanakiev, Diana – Kanellakopoulos, Ioannis: Speed Tracking And Vehicle Follower Control Design For Heavy-duty Vehicles. *Vehicle System Dynamics*, Vol. 25/4 (1996): 251–276.

